

# PENGARUH KEKENTALAN LARUTAN AIR-CMC TERHADAP FENOMENA FLOODING PADA PIPA Miring

Wibawa Endra Juwana<sup>1)</sup>, Indarto<sup>2)</sup>

## ABSTRACT

This research is carried out to investigate the effects of the viscosity of the water - CMC (carboxymethylcellulose) solution to the flooding phenomenon in a countercurrent flow liquid and gas on an inclined pipe. The test section is a plexiglass pipe with 24-mm diameter, 1500 mm length and 10° inclined to the horizontal. The experiments of the flooding are carried out in six different liquid viscosities. Liquid enters the test section through bellmouth type inlet and flows downward, the air is introduced at the bottom of the test section and flows upward.

The results of the research show that the flooding phenomenon occurs earlier in higher liquid viscosity. The pressure difference in the test section and in the vertical pipe section above liquid injector decrease as the liquid viscosity becomes higher. The research shows that the flooding phenomenon always begins with an unstable wave growth.

Key word : flooding, inclined pipe, viscosity, slug.

## PENGANTAR

Sistem aliran dua fase cair dan gas berlawanan arah banyak dijumpai pada industri minyak, industri kimia dan pusat pembangkit tenaga uap, khususnya pada peralatan kondensor, evaporator, menara pendingin (*cooling tower*) dan lain sebagainya. Fenomena yang harus dihindari pada sistem tersebut adalah perubahan aliran yang semula berlawanan arah menjadi searah karena dapat menurunkan efisiensi dari peralatan tersebut. Pada aliran berlawanan arah cair dan gas secara simultan dalam pipa miring atau tegak, gas cenderung bergerak naik terhadap cairan. Aliran berlawanan arah akan dihambat oleh gesekan antar-muka pada tiap fase yang nilainya bertambah seiring dengan bertambahnya kecepatan fase tersebut. Jadi terdapat kecepatan maksimum yang masih dapat mendukung aliran berlawanan arah. Apabila kecepatan maksimum ini dilampaui maka akan terjadi fenomena *flooding*, sebagaimana cairan ada yang mengalir searah dengan aliran gas.

Penelitian mengenai pengaruh viskositas cairan terhadap fenomena *flooding* pada pipa vertikal telah banyak dilakukan, seperti yang dilaporkan oleh Bankoff (1983), diantaranya Clift dkk (1966), Wallis (1969), Chung dkk (1980); atau oleh Zapke dan Kroger (1996). Dari penelitian-penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa kenaikan viskositas cairan akan mempercepat terjadinya *flooding*. Barnea dkk (1986), Siddiqui dkk (1986), Kawaji dkk (1991) serta Choi dan No (1996) melakukan penelitian mengenai fenomena *flooding* pada pipa miring. Timbulnya

*flooding* selalu diawali oleh gelombang tidak stabil pada *interface* kedua fluida yang berkembang menjadi *slug*.

Meskipun penelitian dan kajian secara analitik mengenai pengaruh viskositas cairan terhadap fenomena *flooding* telah banyak dilakukan, namun belum didapatkan satu korelasi dan model analitik yang berlaku secara umum. Hal ini disebabkan karena banyaknya faktor yang mempengaruhi *flooding*, baik sifat fisis cairan maupun geometri sistem yang digunakan. Sehingga salah satu alternatif pemecahannya adalah dengan memperbanyak jumlah penelitian.

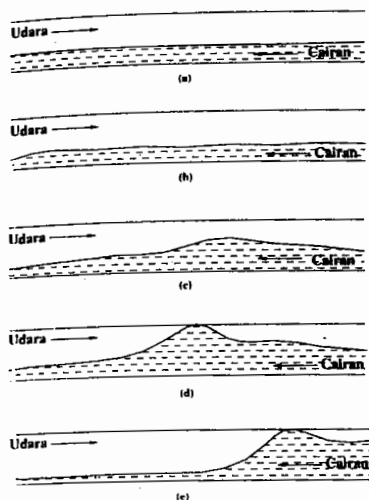
## DASAR TEORI.

Fenomena *flooding* pada saluran miring dan *nearly horizontal* dapat dijelaskan seperti pada Gambar 1.

Pada kondisi awal, tanpa adanya aliran udara cairan mengalir dalam pola *stratified*. Kemudian bila sedikit demi sedikit gas dialirkan maka akan terjadi gangguan berupa ketidakstabilan pada *interface* dari kedua fluida tersebut. Gangguan tersebut berupa gelombang-gelombang kecil yang semakin besar apabila aliran gas diperbesar. Pada suatu kecepatan gas tertentu, akan terbentuk *slug* yang menandai awal proses *flooding*. *Slug* tersebut akan bergerak dari tempat terbentuk menuju ke *inlet* cairan, sehingga menyebabkan laju aliran cairan yang keluar akan berkurang.

<sup>1)</sup> Wibawa Endra Juwana, S.T., M.T., Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta

<sup>2)</sup> Dr. Ir. Indarto, DEA., Jurusan Teknik Mesin FT-UGM, Peneliti Pusat Studi - Ilmu Teknik - UGM dan Pusat Riset Panas Bumi FT-UGM.



Gambar 1. Fenomena *flooding* pada saluran miring dan *nearly horizontal*.

Wallis (1969) mengajukan sebuah persamaan empirik yang memberikan hubungan antara kecepatan cairan dan kecepatan gas pada saat terjadi *flooding*. Korelasi ini banyak dipakai oleh para peneliti untuk mempresentasikan hasil penelitian dengan harga C dan m yang berbeda, tergantung dari kondisi penelitian. Hubungan tersebut dituliskan sebagai berikut :

$$J_G^{1/2} + m J_L^{1/2} = C \quad (1)$$

dengan :

$$J_i^* = J_i \left[ \rho_i / (g D (\rho_L - \rho_G)) \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$J_i = (4Q / \pi D^2) \quad (3)$$

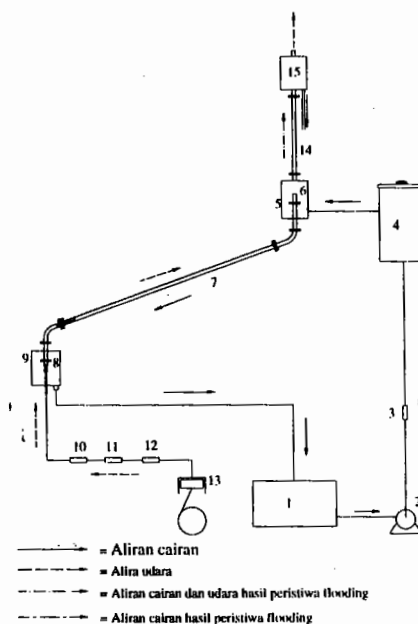
Para peneliti juga telah mengembangkan beberapa model analitik untuk memprediksi awal terjadi *flooding*. Karena *flooding* pada saluran miring diawali oleh terjadinya *slug* (lihat Gambar 1), maka model analitik yang akan digunakan untuk membandingkan dengan hasil penelitian ini adalah model yang disusun berdasarkan teori pembentukan *slug* (*Theory of Slug Formation*), diantaranya seperti yang dilaporkan oleh Bankoff (1983) adalah model Kordyban dan Ranov (1970), model Wallis dan Dobson (1973), model Taitel dan Dukler (1976), model Gardner (1977) serta model Mishima dan Ishii (1980).

#### Bahan Penelitian dan Cara Penelitian

Fluida kerja dalam penelitian ini udara dan air dengan viskositas absolut ( $\mu$ ) 0,0008 kg/ms dan dicampur dengan CMC (Carboxymethylcellulose)

sehingga didapat kan cairan dengan lima variasi viskositas absolut yaitu: 0,2786 kg/ms, 0,0670 kg/ms, 0,0355 kg/ms 0,0046 kg/ms dan 0,0028 kg/ms. Penelitian dilakukan pada suhu kamar

Skema alat penelitian ditunjukkan pada Gambar 2. Bagian utama dari alat penelitian ini adalah tabung *injektor* cairan, tabung *injektor* udara, *separator*, pompa, tabung penenang cairan, bak penampung cairan, *flow meter*, *pressure gauge*, dan seksi uji. Seksi uji yang digunakan berbentuk pipa terbuat dari *plexyglass* dengan diameter dalam 24 mm dengan panjang 1500 mm. Seksi uji dipasang pada kemiringan 10° dari posisi horisontal. Masukan dan keluaran cairan berbentuk *bellmouth*. Pada seksi uji dan pipa vertikal di atas tabung *injektor* cairan dipasang *manometer* untuk mengetahui beda tekanan sebelum, sewaktu dan sesudah terjadi *flooding*.



Keterangan :

1. Bak penampung cairan, 2. Pompa, 3. *Flow meter* cairan,
4. Bak penenang cairan, 5. Tabung *injektor* cairan, 6. Sistem inlet,
7. Seksi uji, 8. Sistem outlet, 9. Tabung *injektor* udara,
10. *Termometer*, 11. *Pressure gauge*, 12. *Flow meter* udara,
13. Kompresor, 14. Saluran udara dan air *flooding*, 15. *Separator*.

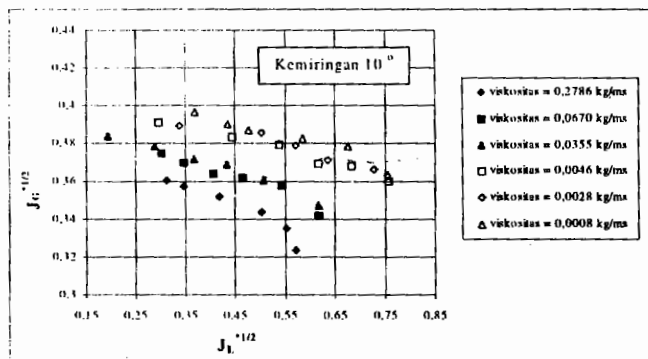
Gambar 2. Skema instalasi alat penelitian

Penelitian dimulai dengan memompa cairan dengan viskositas tertentu dari bak penampung cairan. Cairan akan mengalir ke bak penenang yang selanjutnya ke tabung *injektor*. Dari tempat ini cairan akan mengalir ke dalam seksi uji, selanjutnya mengalir ke *injektor* udara dan kembali lagi ke bak penampung cairan. Bila aliran cairan dalam seksi uji telah konstan, sedikit demi sedikit dialirkan udara dari kompresor. Udara masuk ke dalam seksi uji melalui *injektor* udara. Debit udara yang mengalir terus

diperbesar sampai terjadi *flooding*. Pada saat itu data yang diambil adalah debit cairan, temperatur cairan, debit udara, temperatur udara, tekanan udara, beda tekanan pada seksi uji dan beda tekanan pada pipa vertikal diatas *injektor* cairan.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 3 disajikan pengaruh viskositas cairan terhadap terjadinya *flooding*. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara kecepatan tak berdimensi dari cairan dengan kecepatan tak berdimensi dari udara saat terjadi *flooding*. Dari pembacaan Gambar.3. dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar viskositas cairan akan menyebabkan *flooding* terjadi pada kecepatan udara yang lebih rendah. Hal ini dimungkinkan dengan membesarnya harga viskositas ketebalan film cairan akan bertambah. Dengan penambahan ini akan menyebabkan lebih mudah timbul gangguan *flooding* pada permukaan cairan. Sehingga *flooding* terjadi pada kecepatan udara *superficial* yang lebih rendah. Hasil penelitian yang dilakukan ini bersesuaian dengan yang dilaporkan oleh Bankoff (1983) tentang hasil penelitian dari Clift (1966), Wallis (1969), Chung dkk (1980). Zapke (1996) juga menyatakan hal yang sama, semakin besar viskositas cairan semakin mudah *flooding* terjadi.



Gambar 3. Pengaruh viskositas cairan terhadap kecepatan udara saat *flooding*.

Hasil penelitian juga dapat ditunjukkan dengan korelasi empiris Wallis sebagai berikut :

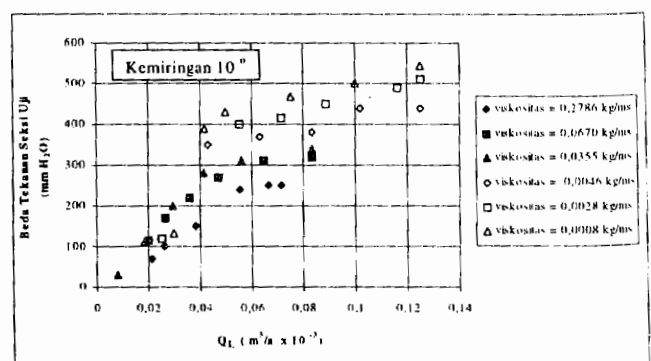
Tabel 1. Korelasi Wallis Untuk Berbagai Kondisi Penelitian

Viskositas cairan (kg/ms)	Korelasi Wallis
0,0008	$J_G^{1/2} + J_L^{1/2} = 0,9329$
0,0028	$J_G^{1/2} + 1,145 J_L^{1/2} = 1,0497$
0,0046	$J_G^{1/2} + 1,158 J_L^{1/2} = 1,0181$
0,0355	$J_G^{1/2} + 1,282 J_L^{1/2} = 0,8823$
0,0670	$J_G^{1/2} + 1,435 J_L^{1/2} = 1,002$
0,2786	$J_G^{1/2} + 1,681 J_L^{1/2} = 1,103$

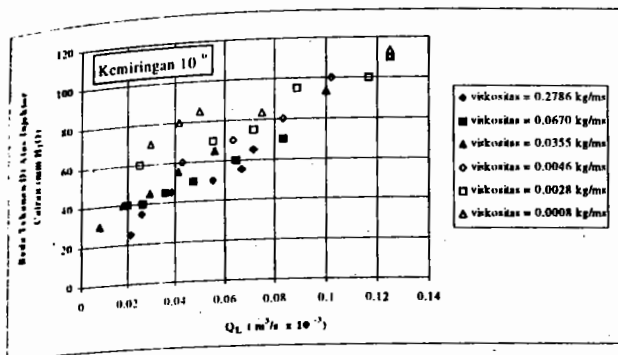
Harga m pada korelasi tersebut merupakan fungsi dari bilangan Grashof, dan harganya semakin besar jika bilangan Grashof semakin kecil. Sehingga dapat diartikan bahwa semakin besar harga m semakin besar efek gaya viskos .

Dari hasil pengamatan secara langsung, *flooding* selalu diawali dengan gangguan aliran berupa gelombang-gelombang kecil yang menjalar dari ujung bawah seksi uji menuju ke atas. Apabila debit udara terus diperbesar, maka pada suatu debit tertentu akan terjadi *slug* yang bergerak ke arah *inlet* cairan. Pada saat *slug* bergerak maka sebagian cairan akan terbawa atau akan terjadi aliran balik dari sebagian cairan. Pergerakan *slug* akan menyebabkan beda tekanan di dalam seksi uji membesar secara mendadak. Beda tekanan yang besar pada saat *slug* bergerak disebabkan oleh perubahan momentum dari cairan yang mengalami perubahan arah aliran (Bankoff dkk.,1983). Pada Gambar 4 disajikan hasil pengukuran beda tekanan pada seksi uji pada saat terjadi *flooding*. Dari Gambar 4 terlihat bahwa bila viskositas cairan bertambah besar, beda tekan semakin kecil. Hal ini mungkin disebabkan karena gerakan *slug* semakin lambat apabila viskositas cairan diperbesar. Sehingga perubahan momentum semakin kecil bila viskositas cairan diperbesar.

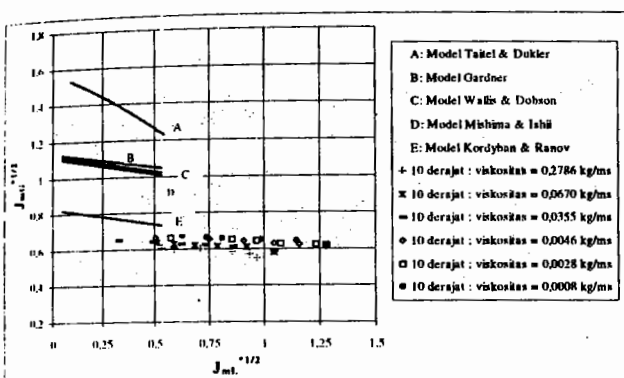
Pada saat cairan mulai mengalir ke pipa vertikal di atas tabung *injektor* cairan, beda tekanan pada tempat tersebut akan naik secara drastis. Sebelum terjadi *flooding*, beda tekanan pipa vertikal di atas tabung *injektor* cairan tersebut hampir tidak ada, hal ini disebabkan karena aliran yang mengalir satu fase udara, namun begitu terdapat aliran dua fase, maka beda tekanan akan naik secara drastis. Pada Gambar 5. disajikan pengaruh viskositas cairan terhadap beda tekanan pada pipa vertikal di atas *injektor* cairan. Dari gambar tersebut terlihat bahwa semakin besar viskositas cairan semakin kecil beda tekanannya. Berdasarkan pengamatan, hal ini disebabkan oleh penambahan cairan yang mengumpul di sekitar *injektor* apabila viskositas cairan diperbesar.



Gambar 4. Beda tekanan pada seksi uji pada saat *flooding*



Gambar 5. Beda tekanan pada pipa vertikal di atas injektor cairan saat flooding



Gambar 6. Perbandingan hasil penelitian dengan beberapa model analitik

Perbandingan beberapa hasil penelitian dengan model analitik teori pembentukan *slug* ditunjukkan pada Gambar 6 Parameter yang digunakan pada Gambar 6 didefinisikan sebagai berikut :

$$J_{mk}^* = J_k \left[ \frac{\rho_k}{2gD \sin \theta (\rho_L - \rho_G)} \right] \quad (4)$$

Pada model analitik tersebut tidak dipertimbangkan pengaruh viskositas cairan. Dari Gambar 6 terlihat bahwa model Kordyban dan Ranov adalah model analitik yang paling mendekati hasil penelitian.

## KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar viskositas cairan maka *flooding* terjadi pada kecepatan udara yang lebih rendah. Beda tekanan pada seksi uji dan pipa vertikal di atas *injektor* akan semakin kecil bila viskositas cairan semakin besar. *Flooding* selalu diawali oleh pembentukan *slug*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin FT UGM, terutama kepada kepala Laboratorium Mekanika Fluida beserta staf dan laboran, atas kesempatan dan bantuan yang diberikan selama melakukan penelitian. Ucapan terima kasih juga penulis tujukan pada semua pihak yang turut membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bankoff, S.G., Lee, S.C., 1983 *A Critical Review of the Flooding Literature*, Department of Chemical Engineering Northwestern University Evanston, Illinois.
- Choi, K.Y., No, H.C., 1995, *Experimental Studies of Flooding in Nearly Horizontal Pipes*, Int. J. Multiphase Flow, vol.21, no.3, hal.419-436.
- Gardner, G.C., 1977, *Motion and Immiscible Fluids in Closed Horizontal and Vertical Ducts*, Int. J. Multiphase Flow, vol.3, hal.302-318.
- Siddiqui, H., Banerjee, S., Ardron, K.H., 1986, *Flooding in An Elbow Between A Vertical and A Horizontal or Near Horizontal Pipe*, Int. J. Multiphase Flow, vol.12, no.4, hal.531-541.
- Wallis, G.B., 1969, *One Dimensional Two Phase Flow*, Mc Graw-Hill Book Company, New York.
- Zapke, A., Kroger, D.G., 1996, *Influence of Fluid Properties and Inlet Geometry on Flooding In Vertical and Inclined Tubes*, Int. J. Multiphase Flow, vol. 22, no.3, hal.461-472.

## NOTASI

- C : konstanta Wallis
- D : diameter pipa (m)
- g : percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )
- $J_k$  : kecepatan *superficial* fase k (m/s)
- $J_k^*$  : kecepatan *superficial* tak berdimensi dari fase k
- $J_{mk}^*$  : kecepatan permukaan tak berdimensi modifikasi dari fase k.
- k : fase, G untuk gas dan L untuk cairan
- m : parameter yang harganya tergantung pada sifat-sifat fisis cairan dan gas; merupakan fungsi dari bilangan Grashof
- $Q_k$  : debit fase k ( $m^3/s$ )
- $\mu$  : viskositas mutlak (kg/ms)
- $\theta$  : sudut kemiringan dari posisi horisontal (derajat)
- $\rho$  : massa jenis ( $kg/m^3$ )